

# 직달일사를 이용한 잠열축열식 바닥난방 시스템이 냉방부하에 미치는 영향에 대한 검토

## Effects of Phase Change Material Floor Heating Systems using Direct Solar Gain on Cooling Load

김수경\*  
Kim, Soo-Kyung\*

(Submit date: 2013. 1. 31. Judgment date: 2013. 5. 28. Publication decide date: 2013. 6. 25.)

**Abstract :** In this research, the effect of a heating system, which is powered by direct solar energy accumulated in phase change material (PCM) as heat storage material installed on the floor surface, on the cooling load was studied. Cooling load of a test building designed for this research was measured with fan coil unit and factors affecting it were also estimated. Experiments were performed with and without PCM installed on the building floor to understand the effect of the PCM on the cooling load. Additionally, to confirm the experiments results, the prediction calculation formula by average outside temperature and integrated solar radiation was composed using multivariate regression model. The results suggested that the heating system with PCM on the floor surface has the potential to shift electric power peak by radiating heat, stored during the daytime in it, at night, not increasing the total cooling load much.

**Key Words :** 축열(Thermal Storage), 냉방부하(Cooling Load), 바닥난방시스템(Floor Heating System), 직달일사(Solar Direct Gain), 잠열축열재(Phase Change Material)

### 기 호 설 명

	U	: 열전달값 (=2.49) (W/m <sup>2</sup> · K)	
	T <sub>R</sub>	: 실내 온도 (=26.5) (°C)	
L <sub>FC</sub>	: 일적산 냉방부하 (MJ/day)	η	: 일사 취득률 (-)
T <sub>O</sub>	: 일평균 외기온도 (°C)	I <sub>SOUTH</sub>	: 실내 일사량 측정치 (W/m <sup>2</sup> )
J <sub>SOUTH</sub>	: 남면 총 일사량 (MJ/m <sup>2</sup> · day)	U <sub>T</sub>	: 창문 열전도율 (W/m <sup>2</sup> · K)

\*김수경 : 전 AE-Solutions Inc., (past)  
E-mail : env.arch.sookyung@gmail.com,

\*\*† Kim Soo-Kyung(corresponding author) : AE-Solutions Inc.,  
E-mail : env.arch.sookyung@gmail.com,

$S_{FLR}$	: 바닥면적 (=15.87) ( $m^2$ )
$S_{P\_FLR}$	: 패널설치 바닥면적 (=7.68) ( $m^2$ )
$S_{WIN}$	: 개구부 면적(=7.97) ( $m^2$ )
$S_{WALL}$	: 실험동 벽면 면적 ( $m^2$ )
$S_{CEIL}$	: 실험동 천장면 면적 ( $m^2$ )
$Q_{WALL}$	: 벽면통과 열류량 측정치 ( $W/m^2$ )
$Q_{CEIL}$	: 천장면통과 열류량 측정치 ( $W/m^2$ )
$Q_{DN}$	: 패널미설치 바닥면 하부통과 열류량 측정치 ( $W/m^2$ )
$Q_{FL\_UP}$	: 패널 설치 바닥면 상부통과 열류량 측정치 ( $W/m^2$ )
$Q_{FL\_DN}$	: 패널 설치 바닥면 하부통과 열류량 측정치 ( $W/m^2$ )
$Q_{PCM}$	: 1일 PCM축열량 (=2.7) (MJ/day)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

에너지 절약에 대한 필요성이 높아짐에 따라 주거부문에서도 에너지의 절감을 위한 여러 가지 노력이 시도되고 있으며 그 중에서도 주거부문의 소비에너지 중 가장 큰 비중을 차지하는 난방에너지 절감의 중요성이 강조되고 있다. 난방에 사용되는 에너지를 줄이기 위해서는 주택의 단열성과 기밀성을 높여 난방부하의 총량을 줄인 후에, 실내온도를 쾌적한 수준으로 유지하게 위해 추가적으로 요구되는 부하에 대해서는 재생가능한 에너지를 이용하는 방법<sup>1),2)</sup>이 일반적으로 생각되고 있다.

이에 필자는 남쪽면에 설치된 창문과 그 주변의 바닥면에 축열재를 설치하여, 창문을 통해 실내로 유입되는 직달일사열을 축열재에 저장하여 일몰 후에 난방에 이용할 수 있는 시스템을 개발한 바 있다. 이 시스템에 사용된 축열재로는 상변화시의 잠열량을 이용하여 작은 비중으로 많은 열을 축열할 수 있는 잠열

축열재(PCM)을 이용하였으며 직달일사가 적은 날이나 난방부하가 큰 겨울철을 대비하여 온수식 히트펌프 열원으로 바닥 면의 PCM에 축열하여 난방을 할 수 있게 하였다. 이 시스템을 이용한 난방부하의 절감효과는 실험과 시뮬레이션을 통해 이미 확인<sup>3),4),5)</sup>한 바 있으나 단열성과 기밀성능이 높은 주택에의 일사 유입은 실내 온도의 과도한 상승을 유발할 위험이 있으며 특히 냉방이 필요한 시기에는 바닥면의 축열효과가 자칫 냉방부하를 늘리는 원인으로 작용할 우려가 있었다.

따라서 본 논문에서는 이 시스템의 설치로 인한 냉방부하의 증가여부를 확인하기 위해, 옥외 실험 등에서의 실증실험을 통해 바닥 축열재가 냉방부하에 미치는 영향을 측정, 분석하였다.

### 1.2 연구의 흐름

본 논문에서는 냉방이 필요한 시기의 시스템 거동을 파악하기 위해 옥외 실험동을 제작하였으며 이 실험동 내외부의 온습도, 풍속, 냉방에 소비된 열량 등을 측정함으로써 냉방부하를 확인하였다. 특히 바닥면의 축열재가 냉방부하에 미치는 영향을 보기 위하여 바닥면의 축열재를 설치한 기간과 설치하지 않은 기간을 구분하여 측정을 실시하였고 이 측정은 2009년 여름에 걸쳐 실시되었다. 바닥 면의 축열재가 설치된 기간과 철거된 기간의 차이에 의한 외부조건의 영향에 의해 발생하는 차를 보정하기 위해서 실험 조건 별로 일평균 외기온도와 수직 남면 일사량을 설명변수로 하여 냉방부하를 상정할 수 있는 중회기식을 도출하였다. 이 식을 이용하여 같은 외부조건 일 때를 가정하여 축열재의 설치 유무에 따른 냉방부하량을 비교 하였다.

## 2. 실험 장치 및 실험방법

### 2.1 실험 장치

본 시스템의 실증 실험의 필드로 활용하기 위해 동경대학의 4층 건물 옥상에 실험동을 4028 mm \* 3940 mm \* 2442 mm의 직육면체의 형태로 제작하였으며 실험동의 남면에 3510mm \* 2270 mm의 창문을 설치하였다. 실험동의 바닥면적 15.8 m<sup>2</sup> 중 7.68 m<sup>2</sup> 에 바닥 난방을 8계통으로 분기하여 설치하였으며 실내온도 조절을 위한 팬코일 유니트와 에어컨을 구비하였다. 실험실 평면도 및 상세한 설비 계통도를 Fig. 2에 표시하였다.



Fig. 1 Testing Device

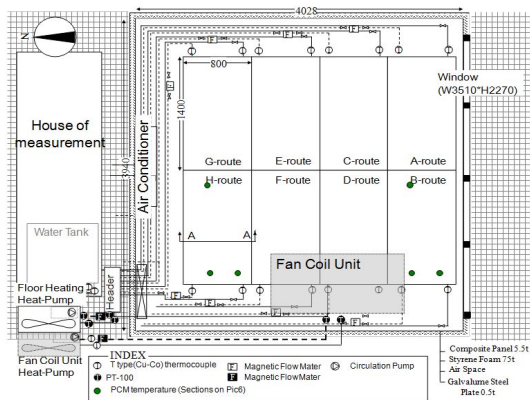


Fig. 2 Facility Ground Plans and Specific Distribution Diagram of the Equipment

이 실험동의 열전달값(U값)<sup>6)</sup>은 2.49 W/m<sup>3</sup>K로서 일본 정부에서 정한 차세대 에너지절약 기준을 만족하는 단열 성능을 가지고 있음을 확인하였다. 정확한 측정을 위해 열원, 배관, 실험동 실내외에 290개의 측정점을 설치하고 모든 데이터는 1초 단위로 측정을 실시하였다. [Table 1]

축열재가 들어있는 바닥에 설치한 패널은 강판으로 케이싱을 하고 배관층 부분에 알루미늄 판을 설치하여 열전도율을 높였으며 PCM은 배관층을 중심으로 상단에는 직달일사 축열을 위한 상변화온도 20도의 PCM, 하단에는 온수축열을 위한 상변화온도 30도의PCM을 설치하였다. 하나의 계통은 1400 mm \* 200 mm \* 50 mm 의 모듈 4개가 세트를 이루도록 하였다. 한 계통의 단면도와 평면도를 Fig. 3에 PCM의 성능을 Table 2에 표시하였다.

Table 1 All Data Point at Testing Device

Part	Point	The Number	Sensor
Pipe	Water Temp.	2	PT-100
	Surface Temp.	16	T-type Thermocouple Sheath
	Water Flow	4	T-type Thermocouple
Around Heat Pump	Water Flow	8	Wheel type Flowmeters
	Water Temp.	4	PT-100
	Air Temp.	4	T-type Thermocouple Sheath
Laboratory	Air Temp.	10	T-type Thermocouple
	Water Flow	2	Magnetic Flowmeters
	Air Temp.	58	T-type Thermocouple
	Humidity	3	Capacitive humidity sensor
	Surface Temp.	75	T-type Thermocouple
	Globe Temp.	9	Globe Thermometer(Diameter75mm)
	Heat Flow	58	Heat Flow Mater
	PMV	1	Amenity Mater
	Solar Radiation	9	Pyranometer
	Temp. Distribution	1	Thermography
Area of sunny place	1	Digital Camera	
Weather	PCM Temp.	12	T-type Thermocouple
	SAT Temp.	5	SAT Mater
	Short/Long Wave	1	Albedo Mater
	Air Flow	1	Semiconductor Sensor type Flowmeter
	Temp./Humidity	1	Hygrothermograph
	Wind Velocity/Direction	1	Propeller type Anemometer
	Global Solar Radiation	1	Pyranometer
	Direct Solar Radiation	1	Pyrheliometer
	Solar Altitude/Azimuth	1/1	Sun Chaser

Table 2 Performance of Phase Change Materials

PCM (Phase Change Materials)	Phase Change Temp [°C]	Latent Heat Storage [kJ/kg]	Thermal Conductivity [W/(m·K)]		Specific Heat [kJ/(kg·K)]		Specific Gravity [-]		quan tity [?]
			Liq	Solid	Liq	Solid	Liq	Solid	
20PCM(CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O)	20	150	0.58	1.06	2.1	1.5	1.56	1.75	120
30PCM(Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O)	30	100	0.28	0.19	3.5	3.6	1.41	1.39	136

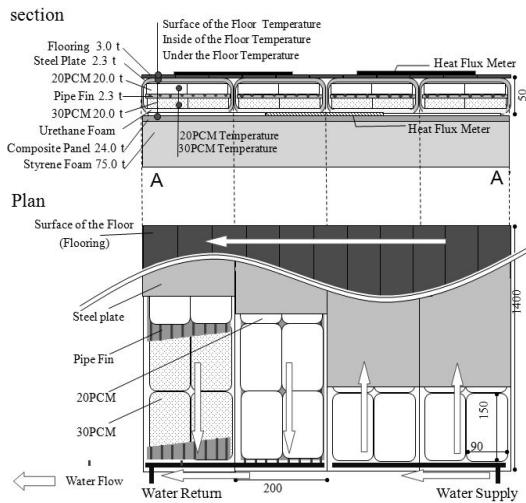


Fig.3 Cross Section and Flat Surface of PCM Panel

## 2.2 실험 방법

본 실험은 앞에서 소개한 실험동을 이용하여 2009년 7월부터 9월에 걸쳐 실시하였다. 7월 1일부터 8월 22일까지는 축열재가 있는 상태로, 8월 26일부터 9월 30일은 축열재가 없는 상태에서 측정하였다. 실험동 내부온도가 26도를 유지할 때 팬코일유닛(이하FCU)가 처리하는 열량을 냉방부하로 하였다. 실험 기간 중에는 환기 장치를 가동하지 않았으므로 잠열 처리열량은 무시하였고 실험동 내부를 균일한 온도로 유지하기 위해 공기순환기를 상시 가동하였다.

또한 냉방부하에 영향을 미치는 요소들을

개별적으로 측정하였다. 즉, 창문투과일사량, 벽체 및 창문을 통한 전도열량, 내부 발열량, PCM축열량을 각각 측정하여 각각의 요소의 거동을 분석하였고, 그 합계를 FCU 처리열량과 비교함으로써 측정결과에 대한 정확성을 확인하였다. Fig. 4에 실험동의 냉방부하와 각 요소들의 관계를 그림으로 나타내었으며 Table 3에는 각 요소의 측정방법을 정리하였다.

Table 3 Measurement Methods of Each Sources

Element of Load	Sign	Formula [Unit : W]
FC Load	$L_{FC}$	$c_w \cdot \rho_w \cdot V_{w_{FC}} \cdot (T_{w_{RE_{FC}}} - T_{w_{IN_{FC}}})$
Incoming Solar Radiation	$Q_{SOL}$	$I_{SOUTH} \cdot S_{WIN}$
Conduction Heating Wall	$Q_{WALL}$	$\sum(q_{WALL} \cdot S_{WALL}) + \sum(q_{CEIL} \cdot S_{CEIL}) + q_{DN} \cdot (S_{FLR} - S_{P_{FLR}}) - Q_{SOL}$
Conduction Heating Win	$Q_{WIN}$	$(T_{GLOBE\_NORTH} - T_{SAT\_WIN}) \cdot U_t \cdot S_{WIN}$
Interior Heat Gain	$Q_{AS}$	Wattmeter
PCM Storage	$Q_{PCM}$	$\sum(q_{FL\_DN}^{*1} \cdot S_{P_{FLR}}) - \sum(q_{FL\_UP}^{*1} \cdot S_{P_{FLR}})$
Heat Balance		$L_{FC} = Q_{SOL} + Q_{WALL} + Q_{WIN} + Q_{AS} + Q_{PCM}$

<sup>\*1</sup>(+)Heat Flow is Downside

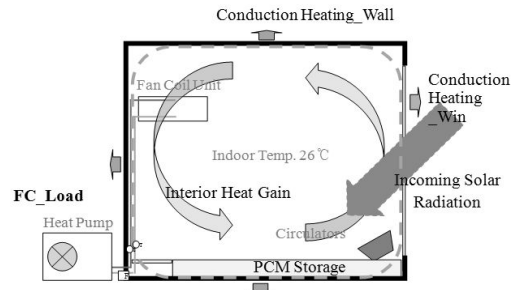


Fig.4 Concept of Sources about Cooling Load

## 3. 필드 실험을 통한 거동 파악

### 3.1 실험 순서

축열 패널을 설치한 실험의 경우, 21시부터 FCU와 온수 히트펌프를 이용해 패널 내의 PCM온도와 실내온도를 26도로 유지시킨 후

익일 0시부터의 결과를 24시간 동안 측정하여 데이터로 사용하였다. 축열 패널을 설치하지 않은 경우는 별도로 조건을 통제하지 않은 상태에서 0시부터 24시간 동안 측정을 실시하였다. 축열 패널을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우를 각각 5회 실시하여 비교하였다.

### 3.2 실험결과

축열 패널을 설치한 일자 (2009년 7월 14일, 16일, 18일, 22일, 24일)의 실험결과들은 유사한 양상을 보였으며 그 중 하루인 2009년 7월 16일의 결과를 Fig. 5에 표시하였다. 실내온도는 상시 26도로 유지되고 있고 바닥온도는 약 24도로 유지되고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 6에는 FCU로 송수되는 송수온도와 유량을 나타내었으며, FCU는 일사가 들어오는 낮 시간에는 최고 유량으로 가동을 하나 밤에는 거의 가동하지 않았다.

축열 패널을 설치한 7월 16일과 축열 패널을 설치하지 않은 9월 8일의 데이터를 각각 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었으며, 이 도표는 위로부터 외기조건, 각 부하요소들의 비율, 요소별 측정 결과와 FCU를 이용하여 구한 냉방부하를 표시하였다. 각 요소의 합계와 FCU를 이용하여 구한 냉방부하가 거의 일치하는 것으로부터 냉방부하의 측정이 축열 패널의 유무에 관계없이 정확히 이루어졌음을 알 수 있다. 각 요소별의 결과를 보면 창문을 통한 입사 일사량이 30%이상의 비율을 차지하고 있어 이의 효과적인 제어가 냉방부하의 저감으로 이어질 수 있음을 확인 하였다. 또한, Fig. 7의 요소 별 막대그래프를 살펴보면 일사가 입사하는 낮 시간(6:00~17:00) 동안에 PCM에 축열된 열량은 약 3.3 MJ 로서 실내로 입사한 일사량 12.9 MJ 의 25%정도의 열량이 바닥에

로의 축열이 이루어지고 당일 0시까지 약 0.2 MJ의 열량이 방출된 것을 확인하였다. 이는 여름철 한낮의 전력 수요를 줄이는 피크시프트에로의 활용을 기대해 볼 수 있다.

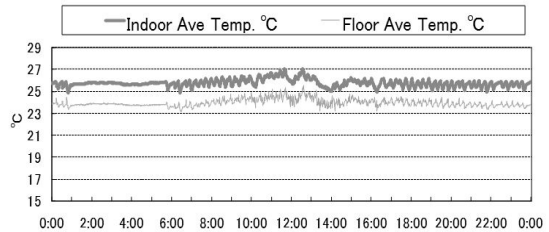


Fig.5 Indoor Temperature and Average on Floor Surface Temperature(2009/7/16)

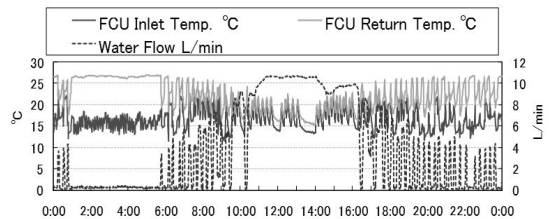


Fig.6 FCU Inlet Water Temperature and Flow(2009/7/16)

## 4. 중회기분석을 이용한 냉방부하의 비교

### 4.1 중회기 분석의 개요

실험을 통해 축열 패널의 유무에 따른 냉방부하를 측정하였으나 각각의 측정이 서로 다른 외부 조건 속에서 이루어졌기 때문에 직접 정량적 비교를 하는 데는 어려움이 있다. 따라서 동일한 외부조건하에서 축열 패널의 유무에 의한 냉방부하의 차이를 비교하기 위해 중회기 분석을 통하여 냉방부하의 산출식을 도출하였다. 냉방부하에 가장 영향을 크게 주는 외기 온도 ( $T_o$ )와 남면 총 일사량( $J_{SOUTH}$ )을 설명변수로 잡고 일적산 냉방부하를 구하는

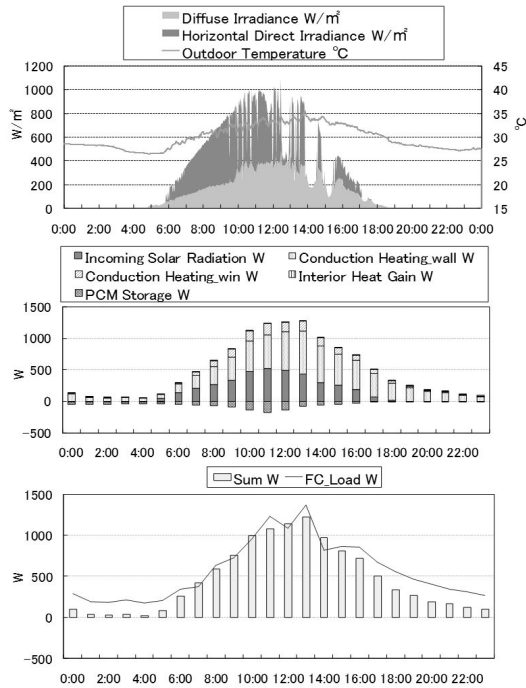


Fig.7 Results of Test With PCM Panel(2009/7/16)

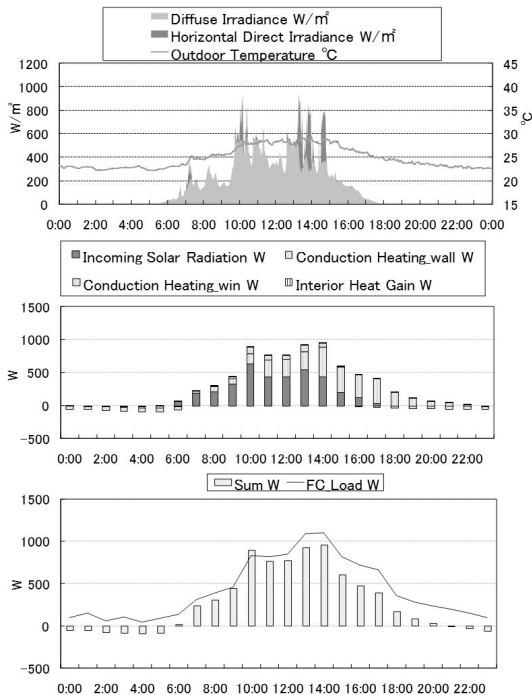


Fig.8 Results of Test Without PCM Panel(2009/9/8)

회귀식을 도출하였다. 실험동에서 얻은  $T_O$ 와  $J_{SOUTH}$ 에 따른 일적산 냉방부하( $L_{FC}$ )의 변화를 산포도로 나타내면 Fig. 9와 같다. 하나의 점이 하루의 적산치의 결과로 축열 패널의 있는 날의 결과와 없는 날의 결과를 나타내었다. 축열 패널의 없는 경우  $T_O$ 가 높은 날에  $L_{FC}$ 가 크게 나타나는 경향이 있고 축열 패널이 있는 경우는  $J_{SOUTH}$ 가 많은 날에  $L_{FC}$ 가 크게 나타나는 경향을 보이니 2개의 요소 모두  $L_{FC}$ 와 비례하는 상관관계에 있음을 확인할 수 있다. 이를 토대로 식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$L_{FC} = a \cdot T_O + b \cdot J_{SOUTH} + C \quad (1)$$

또한 식(1)을 물성치에 기초하여 다시 작성하면 식(2)과 같이 표현할 수 있다.

$$L_{FC} = U \cdot S_{FLR} \cdot (T_O - T_R) + \eta \cdot S_{WIN} \cdot J_{SOUTH} - Q_{PCM} \quad (2)$$

식(2)을 분해하여 정리하면 식(3)과 같이 된다.

$$L_{FC} = U \cdot S_{FLR} \cdot T_O + \eta \cdot S_{WIN} \cdot J_{SOUTH} - (Q_{PCM} + U \cdot S_{FLR} \cdot T_R) \quad (3)$$

식(3)을 식(1)과 비교하면 a, b, C에 해당하는 값을 각각 구할 수 있다.  $T_O$ 의 계수인 a는 실험동 U값으로 나타낼 수 있으며(단위환산 필요),  $J_{SOUTH}$ 의 계수인 b는  $\eta$ 과 관계가 크다는 것을 알 수 있다. 또한 상수항 C는 PCM에 축열되는 열량과 관계가 크다는 것을 확인할 수 있다. 이에 중회기 분석 시에는 식을 좀더 간결하게 하여 오차에 대한 영향을 줄이기 위해 정수항 C를 실험결과에서 미리 구하여 이를 좌변으로 이항하여 「 $L_{FC} - C$ 」를 목적변

수로 취급하고 정수항을 「0」으로 하여 회귀식을 구하였다. Table 4에 식(3)에 의해 구하여진 a,C값을 기재하였다.  $J_{SOUTH}$ 의  $n$ 은 별도의 측정치가 필요한 관계로 여기서는 정확한 값을 구하지 못하였다.

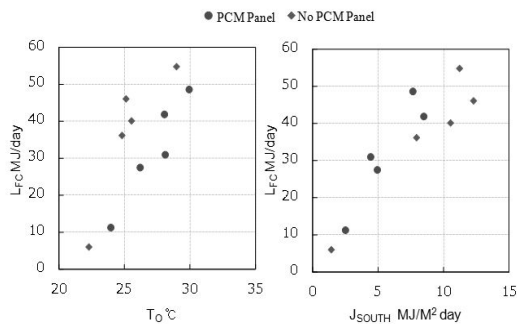


Fig.9 Correlation between Cooling Load and Outdoor Temperature, Integrated South Solar Radiation

Table 4 Results of Prediction Calculation Formula

Case		a	b	C	R <sup>2</sup>	Cooling Load (Calculated)
according Fomula (3)	PCM Panel	1.41	-	40.9	-	-
	No PCM Panel			38.1	-	-
according Regression Analysis	PCM Panel	1.86	3.95	Use Upper Value	0.962	39.2 [MJ/Day]
	No PCM Panel	1.84	3.24		0.975	35.7 [MJ/Day]

#### 4.2 중회귀분석의 결과

중회귀 분석의 결과인 각 항의 계수는 Table 4와 같다. 축열 패널의 유무의 결과 모두 측정치와 계산치의 R<sup>2</sup>가 0.9 이상으로 매우 좋은 상관관계를 나타내었다. T<sub>0</sub>의 계수 a는 식(3)으로부터 구한 값과 비슷한 수치인 1.8정도를 나타내었다. 또한  $J_{SOUTH}$ 의 계수 b는 3이상의 수치를 나타내었다. 이 식을 이용하여 외기조건이 같은 날의 축열 패널의 설치여부에 따른 L<sub>FC</sub>의 정량적 비교를 하였다. 측정기

간 중에 가장 발생빈도가 높았던 T<sub>0</sub>가 26도,  $J_{SOUTH}$ 가 8 MJ/m<sup>2</sup>·day 일 때의 L<sub>FC</sub>를 회귀 식 으로부터 산출한 결과를 Table 4에 기재하였다. 그 결과 축열 패널의 유무에 의한 일적산 냉방 부하량은 축열 패널 설치 시에 39.2 MJ/day와 축열 패널 미설치 시에 35.7 MJ/day로 일부하의 10%미만의 3.5 MJ/day 정도의 차이를 보여 축열 패널의 설치로 인한 냉방부하의 증가는 미비한 것으로 확인되었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 기존에 필자가 개발한 바 있는 낮 동안 유입되는 직달일사를 바닥에 설치한 축열재에 축열하여 일몰 후의 난방에 이용하는 축열식 바닥난방시스템을 설치한 주택에 있어서 바닥의 축열재가 여름철 냉방 부하에 어떤 영향을 끼치는지 알기 위하여 실험과 중회귀 분석을 실시하였다. 우선 실험을 통해 축열 패널을 설치한 기간과 설치하지 않은 기간의 냉방부하를 측정하고 냉방 부하에 영향을 주는 각 요소들을 평가하였다. 그 결과 축열 패널이 있는 경우 입사일사량의 약 25%정도의 열이 축열되어 일몰 후에 재 방출되는 것을 확인하였다.

또한 다른 외기 조건 하에서 측정되어진 결과를 가지고 축열 패널의 설치여부에 따른 냉방부하를 비교하기 위해 일평균 외기 온도와 남면 총 일사량을 설명변수로 하는 중회귀 식을 도출하였다. 그 결과 R<sup>2</sup>가 0.9이상인 회귀식을 구할 수 있었다. 회귀식을 가지고 같은 외기 조건에서 축열 패널의 유무에 따른 냉방부하를 비교한 결과 축열 패널의 설치로 인해 일부하의 10%미만의 열량만이 증가하여 축열 패널의 유무에 따른 일적산 냉방부하의 차이는 크지 않은 반면 축열 패널이 낮시간 동안

열을 흡수하여 전력부하가 적은 일몰 후에 방출하는 거동을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 본 시스템이 피크시프트효과를 가져옴으로써 여름철 전력운용에 유용하게 활용될 수 있음을 알 수 있다.

## 후 기

이 연구의 실험을 지속하는데 큰 도움을 주신 Prof. Sakamoto Yuzo님께 감사를 드리며 실험동을 만드는데 도움을 주신 Mrs. Kindaichi Sayaka 님과 이 실험실 운용과 실험 장비를 마련해주신 Prof. Mae Masayuki님께 진심으로 감사를 드립니다. 그 외에 연구진행에 도움을 많이 주신 Mr. Satho Makoto, Mr. Kouno Ryohei 님에게도 감사의 말씀을 전합니다.

## 참 고 문 헌

1. Nakamura Kenji et al, Guideline of Plan of Solar House with Solar Air Collector and Floor Heating System, Journal of architecture, planning and environmental engineering. Transactions of AIJ, Architectural Institute of Japan, 1999.
2. Hasegawa Fusao et al, Experimental Study on Thermal Storage Floor System of Passive Solar Systems Using an Actual Test House, Journal of architecture, planning and environmental engineering. Transactions of AIJ, Architectural Institute of Japan, 1986.
3. Kim Sookyung et al, Comfortable and Energy-Saving Thermal Store Floor Heating System combined with Air Source Heat Pump using Solar Radiation (Part 1) Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan. D-2, Architectural Institute of Japan, 2010.
4. Kim Sookyung et al, Comfortable and Energy-Saving Thermal Store Floor Heating System combined with Air Source Heat Pump using Solar Radiation (Part8), Summaries of technical papers of Annual Meeting Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan,, 2010.
5. Kim Sookyung et al, Comfortable and Energy-Saving Thermal Store Floor Heating System combined with Air Source Heat Pump using Solar Radiation (Part12), Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan. D-2, Architectural Institute of Japan, 2011.
6. Higuchi Seiroku et al, Study on The Practicality of The Measurement of Envelope Heat Loss Coefficient (Part1) The Development of The Simplified Measurement Assembly of Envelope Heat Loss Coefficient and its Results, Summaries of technical papers of Annual Meeting AIJ, Architectural Institute of Japan. 2005.